Lauther (H.)

Diss. Halle-Wittenberg

1905.

Läßt sich ein physiologischer Einfluß der radioaktiven Emanationen in der Atmosphäre nachweisen?

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Heinrich Lauter.
aus Oranienburg.

Halle (Saale)
Druck von Heinrich John
1915.

Referent: Geh. Reg.-Rat Professor Dr. Dorn.

Meinen Eltern in Dankbarkeit
gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546024_0111

Inhaltsübersicht.

Seite

Allgemeine Einleitung . . . . . 7—10

A. Meteorologisch-physikalischer Teil . . . . . 11—27

I. Einleitung . . . . . 11—13

II. Versuchsanordnung . . . . . 14—15

III. Gang der Untersuchungen . . . . . 15—17

IV. Verwertung der Beobachtungen . . . . . 17—20

V. Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren . . 20—26

VI. Zusammenfassung . . . . . 26—27

B. Physiologischer Teil . . . . . 28—37

I. Stand der Emanationstherapie . . . . . 28—30

II. Gang der Untersuchungen 31

III. Zur Verfügung stehende Personen . . . . . 31—32

IV. Ergebnisse bei den einzelnen Personen . . . . 32—36

V. Überblickung der Resultate . . . . . 36—37

Allgemeine Einleitung.

Schon seit undenklichen Zeiten ist es bekannt, daß gewisse Krankheitserscheinungen wie Rheumatismus, Gicht und verschiedene Nervenleiden mit der Wetterlage im engen Zusammenhange stehen. In vielen Fällen kommt noch hinzu, daß eine Zunahme der Schmerzen oder ein Wiederauftreten derselben einen Witterungswechsel vorher empfinden lassen.

Die oben erwähnten Krankheiten sind es nun gerade, die heute eine günstige Beeinflussung durch radioaktive Produkte erfahren und eine neue Therapie „die Radiotherapie" ins Leben gerufen haben.

So war es denn auch eben möglich, daß einzelne Autoren wie P. Steffens,[1]) Grabley[2]) und Farkas[3]) einmal untersuchten, ob nicht der wechselnde Gehalt der in der Luft befindlichen radioaktiven Produkte auf solche wetterempfindlichen Personen physiologisch einwirkte.

Während Farkas eine große Fülle klinischer Beobachtungen bringt, rücken Grabley und Steffens der Lösung dieser Frage näher. Grabley bestimmte nach der später erwähnten Drahtaktivierungsmethode (Seite 14) den Gehalt der Atmosphäre an Radium-Emanation indirekt und verfolgte gleichzeitig das Befinden einer Anzahl von Patienten. Da bei ihm hohe Aktivierungszahlen und Tage mit Anfällen zusammenfielen, so kommt er zu dem Schluß, daß „derartige Krankheitskrisen und sphärische (sic!) Radium-Emanation in Wechselwirkung stehen".

---

[1]) Witterungswechsel und Rheumatismus. Sonderabdruck aus dem „Archiv für physikal. Medizin u. med. Technik", Leipzig 1910. — Radium in Biologie und Heilkunde 1911, Bd. 1, Heft 4.

[2]) Zeitschrift für klin. Medizin, Bd. 71, 1910, S. 338.

[3]) Zeitschrift für physikalische und diätetische Therapie, Band 15, 1911, S. 65.

Weiterhin machte er folgenden Versuch: Er lud eine Person auf genügend isoliertem Sitz auf ein negatives Potential von 5000 Volt, indem er eben annahm, daß auf negativ aufgeladenen Körpern radioaktive Produkte sich niederschlagen. Aus der bei der Mehrzahl der so aktivierten Personen auftretenden Unruhe folgerte er, „daß die induzierte Radioaktivität auf Körper negativen Potentials die causa movens bestimmter klimatischer Einflüsse ist". Meteorologische Faktoren wie Bewölkung, Barometer etc. wurden zur Erklärung nicht herangezogen.

Steffens wählte eine nicht-experimentelle Methode. Er ging überlegend und vergleichend vor. Zunächst berücksichtigte er meteorologische Faktoren, wie Barometer, Windrichtung und Temperatur, ohne indeß zu einem positiven Resultat zu kommen. Auch der Feuchtigkeit spricht er einen einwandfreien Einfluß auf Rheumatiker etc. ab, da diese im Sommer bei 100 % Feuchtigkeit wenig oder gar keine Schmerzen haben.

Einer Lösung scheint ihm die Berücksichtigung der sogenannten Wildbäder entgegen zu bringen, die ja doch ihre Heilkraft der Radium-Emanation und ihren Zerfallsprodukten verdanken. Hier in diesen Bädern befinden wir uns in einer Region, die weit mehr als die gewöhnliche, ebenfalls ionisierte Atmosphäre freie negative und positive Ionen enthält. Durch diese Überlegung kommt er auf die Luftelektrizität. Durch ihr wechselndes Verhalten bei den verschiedensten Witterungsverhältnissen scheint ihm ein Einfluß auf den Organismus bedingt zu sein. Speziell macht er auch das Befinden von einer größeren oder geringeren Anzahl positiver oder negativer Ionen abhängig. Des weiteren untersucht Steffens unter Berücksichtigung der Arbeiten Prof. Himstedt's und Gockel's die meteorologischen Bedingungen, von denen die Ionisierung der Luft abhängig ist. Die Ionisierung der Atmosphäre ist hiernach eine größere bei trockener Luft und Sonnenbestrahlung als bei feuchtem und trübem Wetter.

Was das Vorherrschen der negativen oder positiven Ionen anbetrifft, so konstatiert er, daß absolut und relativ genommen die negativen Ionen vom November bis zum Monat Mai in Folge der winterlichen Dunstbildung geringer sind als in der übrigen Jahreszeit und daß zunehmende Feuchtigkeit die Ionenzahl insonderheit die der negativen stark herabsetzt. Er kommt jetzt zu folgendem Schluß: „In den Monaten Juni bis Oktober: größere

Wärme, weniger Dunst und Nebel, stärkere Ionisierung der Luft (wobei die Anzahl der negativen Ionen schneller wächst, als die der positiven), geringeres Auftreten rheumatischer Beschwerden". Für den anderen Teil des Jahres ergeben sich die entgegengesetzten Beziehungen.

Nach dieser Zusammenstellung scheint der Feuchtigkeit, verbunden mit hoher oder niedriger Temperatur, die Hauptrolle zuzukommen. Der Einwand bezüglich der Regentage scheint also unerklärt und die Berücksichtigung der Luftionisation belanglos. Nach einer Untersuchung Gockel's indes zeigt sich, daß die Luftionisation schon allein den Widerspruch lösen kann. Gockel gibt an, daß er bei seinen Angaben über die Abhängigkeit des Ionengehaltes von der relativen Feuchtigkeit Tage mit Niederschlägen ausgeschlossen hat. Später führt derselbe Forscher an, daß sich bei einer relativen Feuchtigkeit von 100 % speziell bei Platzregen ein sehr hoher Ionengehalt vor allem an negativen Ionen ergab. Hierin findet Steffens die Erklärung für den weiter vorn erwähnten Befund, daß es eben den Rheumatikern an vielen Sommertagen bei starken Regengüssen vielfach besser ergeht, als an dunstig-nebligen Tagen mit niedriger relativer Feuchtigkeit. Als Gegenstück dazu erwähnt er den Föhn, der trotz hoher positiver Ionenzahl dennoch rheumatische Beschwerden verursacht.

Steffens kommt schließlich zu dem Resultat, daß man eine Übereinstimmung zwischen dem Auftreten und Stärkerwerden gichtischer, rheumatischer und nervöser Leiden mit dem Sinken der Luftionisation vor allem dem Fehlen an negativen Ionen finden kann und daß umgekehrt ein Steigen der Ionisation, besonders ein Anwachsen der negativen Ionen die oben erwähnten Beschwerden verringert.

Steffens zieht dieses Ergebnis zur Erklärung der Heilwirkung der an Ionen reicheren radioaktiven Bäder heran, indem er betont, daß den negativen Ionen, bezw. den Betastrahlen durch ihre größere Durchdringungsfähigkeit eine größere therapeutische Wirkung zukommt als den positiven Ionen.

Auf diese Überlegung hin baut er ein Verfahren, die sogenannte Anionen-Behandlung, auf, durch welches er negative Ionen auf den Organismus einwirken läßt. Er erzielt damit in vielen Fällen, oft unter Eintritt der Reaktion, therapeutische Erfolge.

Abgesehen davon, ob die positiven Ionen oder die negativen Ionen (Beta-Strahlen) eine höhere oder geringere Heilwirkung haben, kommen Grabley und Steffens zu verschiedenen Ergebnissen. Grabley stellt fest, daß bei hohem Gehalt der Atmosphäre an Emanationen das Befinden dieser Wetterkranken sich verschlechtert und Steffens kommt zu dem entgegengesetzten Resultat.

Auf Anregung des Herrn Prof. Dr. Dorn unternahm ich nun, das dieser Arbeit vorangestellte Thema einer Untersuchung zu unterziehen. Ich ging dabei so zu Werke, daß ich an jedem Tage nach der Drahtaktivierungsmethode (Seite 14) indirekt den Gehalt der Atmosphäre an Radium- und Thoriumemanation bestimmte und gleichzeitig einer Anzahl einwandfreier Personen (etwa acht), die allen schon angedeuteten Anforderungen entsprachen, über ihr Befinden an den verschiedenen Tagen Aufzeichnungen machen ließ.

Vor allem schien es mir, wie es auch schon Steffens tat, wichtig, festzustellen, welchen meteorologischen Bedingungen der Gehalt unserer Atmosphäre an Emanationen unterworfen ist. Ich schritt daher in einem rein physiko-meteorologischen Teil zur Beantwortung folgender Frage: Von welchen meteorologischen Faktoren hängt der Gehalt der Luft an Emanationen und damit an atmosphärischer Aktivität ab? In einer zweiten Fragestellung wandte ich mich, indem ich gleichzeitig meteorologische Faktoren wie Temperatur, Barometer, Bewölkung, relative Feuchtigkeit, Windstärke, Windrichtung und Luftdurchsichtigkeit zur Erklärung heranzog, der eigentlichen Aufgabe zu: Läßt sich ein physiologischer Einfluß der radioaktiven Emanationen in der Atmosphäre nachweisen?

A. Meteorologisch-physikalischer Teil.

I. Einleitung.

Rutherford[1]) fand, daß Luft, die über ausgebreitetes Thoriumoxyd strich, die Fähigkeit erwarb, andere Körper dadurch zu aktivieren, daß sich die Zerfallsprodukte der Emanation auf der Oberfläche der Körper niederschlugen und den sogenannten „aktiven Niederschlag" hervorriefen. Diese Fähigkeit konnte durch eine negative Aufladung der in der radioaktiven Luft befindlichen Körper erhöht werden.

Elster und Geitel[2]) waren nun die ersten Forscher, denen eine gewisse Analogie betreffs ihres Leitvermögens zwischen solchen radioaktiven Gasen und der atmosphärischen Luft auffiel. Sie übertrugen die von Rutherford entdeckte Methode auf unsere Luft, um auch hier nach einem aktiven Niederschlag und damit nach einer Emanation zu suchen. Ein Drahtgeflecht wurde auf ein negatives Potential, das zwischen 100 und 1000 Volt schwankte, aufgeladen. Dieses Drahtgeflecht wurde dann in ein Zerstreuungsgefäß gebracht, dessen eingeschlossene Luftmenge tatsächlich eine starke Ionisation zeigte. Das Material, welches negativ exponiert wurde, spielte hierbei keine Rolle. Blätter, Papier usw. besaßen diese Fähigkeit in gleicher Weise wie die verschiedensten Metalle. Auch eine Wirkung auf die photographische Platte selbst durch Metallfolien hindurch wurde von Elster und Geitel[3]) konstatiert und damit eben eine Becquerel-Strahlung nachgewiesen.

Neue Untersuchungen[4]) ergaben, daß die Bodenluft ein hervorragender Träger der Emanation war. Die Anwesenheit von Bodenluft in einem geschlossenem Gefäße wirkte wie die von

[1]) Phil. Mag. 49, 161. 1900.
[2]) Phys. Zeitschrift 2, 590, 1901.
[3]) Phys. Zeitschrift 2, 590, 1900—1901.
[4]) Phys. Zeitschrift 3. 576 ff, 1901—1902.

Radium und Thorium herrührenden radioaktiven Gase, Emanationen genannt. Höchst wahrscheinlich rührt also ein Teil Ionisation der Luft (der größte Teil der Ionisation resultiert aus der durchdringenden Strahlung) von einer Emanation her, die ihren Ursprung in den feinverteilten, kräftigen, radioaktiven Stoffen des Erdbodens hatte und die durch Diffusion in die Atmosphäre gelangte. Von ihnen wurde auch ein Verfahren mitgeteilt, um die radioaktiven Stoffe aus der Luft zu gewinnen.[1])

Dieselben Forscher wiesen dann auch nach,[2]) daß die Entaktivierungskurve innerhalb der Fehlergrenze der Methode mit derjenigen übereinstimmte, die sich bei der Abklingung des durch die Radium-Emanation bedingten aktiven Niederschlages ergab.

Allan[3]) sprach sich bald danach dahin aus, daß der aktive Niederschlag komplexer Natur sei.

H. A. Bumstead[4]) gelang es hier Klärung zu schaffen. Er lud wie Elster und Geitel lange Drähte negativ auf. Bei der Beobachtung der Abklingung machte er die Bemerkung, daß der Abfall nicht genau mit dem durch die Radium-Emanation erzeugten aktiven Niederschlag übereinstimmte. Besonders dann war noch eine Wirkung festzustellen, wenn der aktive Beschlag des Radiums schon verschwunden war. Es konnte sich hier nur um Thorium handeln, da das Thorium B eine Halbwertzeit von ca. 11 Stunden hat. Die Thorium-Emanation und deren Zerfallsprodukte wurden für Göttingen von J. E. Burbank[5]) und für Freiburg von Gockel[6]) einer Prüfung unterzogen.

Auch Blanc[7]) hat in dieser Richtung gearbeitet. Dadourian[8]) legte schließlich noch dar, daß die Thorium-Emanation ebenso wie die Emanation des Radiums dem Erdboden entstammte.

Die dritte radioaktive Substanz, der eine Emanation zukommt und welche aus diesem Grunde für die Ionisation der Atmosphäre in Betracht kommt, ist das Aktinium. Über die Anwesenheit seiner Emanation und ihrer Zerfallsprodukte liegen bis

[1]) Phys. Zeitschrift 3, 305, 1902.
[2]) Phys. Zeitschrift 5, 11, 1904.
[3]) Phil. Mag. 7, 140, 1904.
[4]) Phys. Zeitschrift 5, 504—509, 1904.
[5]) Phys. Zeitschrift 6, 436, 1905.
[6]) Phys. Zeitschrift 8, 701, 1907.
[7]) Phys. Zeitschrift 9, 294, 1908.
[8]) Amer. Journ. Sci. 19, S. 16, 1905.

heute wenig Angaben in der Literatur vor. Gockel[1]) und Jaufmann[2]) fanden zuerst eine Abweichung in der Abklingung des aktiven Niederschlages des Radiums und vermuten damit Aktinium festgestellt zu haben. Im übrigen wurde hier die Aktinium-Emanation und ihre nachfolgenden Produkte wegen ihres geringen Anteils an der Ionisation der Atmosphäre nicht berücksichtigt. Ihre Emanation klingt sehr schnell ab und ihre Zerfallsprodukte sind schwer vom aktiven Radium-Niederschlag zu trennen.

Dadourian[3]) und Wilson[4]) bestimmten auch die Mengenverhältnisse zwischen der Radium- und Thorium-Emanation und fanden, daß die Radium-Emanation bei weitem überwiegt. Kurz[5]) machte dann weiterhin einige quantitative Angaben betreffs des aktiven Beschlages und erhielt auch durch die Drahtaktivierungsmethode genauere und bestimmtere Kurven. Schließlich stellte auch Sanderson[6]) einen Einfluß des Bodens auf die atmosphärische Aktivität fest.

Radium, Thorium und Aktinium sind also die drei radioaktiven Substanzen, denen eine Emanation zukommt. Durch Diffusion, durch aufsteigende Luftströmungen usw. werden die Emanationen nebst ihren Zerfallsprodukten dem Erdboden entweichen und die Atmosphäre durchsetzen.

Die Abhängigkeit der Radium-Emanation und dann auch der Thorium-Emanation und ihrer Zerfallsprodukte von meteorologischen Faktoren ist schon oft zum Gegenstand der Untersuchung gemacht worden. Ich will der Resultate erst im Verlaufe der Arbeit bei den verschiedenen Befunden Erwähnung tun. Hier sei nur bemerkt, daß der Gehalt der Luft an radioaktiven Produkten vielen Schwankungen unterliegt, die einerseits in der Wetterlage andererseits aber auch in lokalen Verhältnissen ihre Ursache haben.

Ich unternahm nun im Folgenden, die Atmosphäre in Halle einer Prüfung auf radioaktive Produkte hin zu untersuchen und die meteorologischen Einflüsse auf den Wechsel des Radium- und Thoriumgehaltes zu berücksichtigen.

---

[1]) Phys. Zeitschrift 8, 701, 1907.

[2]) Met. Zeitschrift 24, 337, 1907.

[3]) Sill. J. (4) 25, 335, 1908.

[4]) Phil. Mag. (6) 17, 321, 1909.

[5]) Abhandlungen der bayr. Akad. der Wissenschaften, Math.-Phys. Klasse, Bd. 25, 1. Abh., S. 27.

[6]) Phys. Zeitschrift 13, 142, 1912.

II. Versuchsanordnung.

Zur Gewinnung der radioaktiven Stoffe aus der Atmosphäre diente ein 0,4 mm dicker, 7 m langer Kupferdraht, welcher im Institutsgarten stets an derselben Stelle in einer Höhe von etwa $2^1/_2$ m isoliert ausgespannt war und zwei Stunden lang auf ein negatives Potential von 2100 Volt aufgeladen wurde. Jeder Draht wurde nur einmal zur Aktivierung benutzt. Zur Erzeugung der Spannung verwandte ich entweder eine Influenzmaschine oder aber auch einen Induktionsapparat. Die Influenzmaschine wurde durch einen Elektromotor angetrieben. Der positive Pol wurde geerdet und der negative Pol mit einer feinen Spitze versehen, die man dem geerdeten positiven Pol nähern oder von ihm entfernen konnte. Diese Anordnung gestattete eine ziemlich konstante Einstellung des Potentials, jedoch mußte disruptive Entladung vermieden werden. Vom negativen Pol führte nun ein Draht zu einem durch das Holz des Fensterkreuzes in einer Ebonitröhre hindurchgeführten Draht, dessen äußeres Ende umgebogen war und an dem der zu aktivierende Draht befestigt wurde. Zeitweise, besonders bei feuchtem Wetter, wurde ein Induktions-Apparat benutzt, dessen positive Elektrode ebenfalls geerdet war. Vom negativen Pol wurde nun durch Spitzenstrahlung die Elektrizität auf den mit der inneren Belegung einer Leidener Flasche verbundenen Knopf übergeführt. Auch hier mußte disruptive Entladung verhindert werden. Die äußere Belegung der Leidener Flasche war mit der Erde verbunden. Durch Vergrößerung oder Verkleinerung des Abstandes der Spitze von dem Knopf der Flasche konnte man sich mit größter Genauigkeit das gewünschte Potential schaffen. Von der inneren Belegung führte dann ein Draht in der oben angegebenen Weise durch das Fensterkreuz hinaus ins Freie. In beiden Fällen wurde stets die Spannung während der Aktivierung mittelst eines Braunschen Elektrometers einer Kontrolle unterzogen. Der aufzuladende Draht wurde am andern Ende an einem von Elster und Geitel[1]) angegebenen Isolierhaken befestigt, der zur Trocknung mit Natrium beschickt werden konnte.

Zum Nachweis des radioaktiven Zustandes des exponierten Drahtes diente ein Wulfsches Elektrometer[2]) mit aufgesetzter

[1]) Phys. Zeitschrift 1902, 305 ff.

[2]) Phys. Zeitschrift 8, 246 und 527, 1907.

Ionisationskammer, wie es von der Firma Günther & Tegtmeyer, Braunschweig geliefert wird. Es besteht im wesentlichen aus zwei, wenige Zentimeter langen, nach der Methode von Bestelmeyer durch kathodische Platinbestäubung leitend gemachten Quarzfäden. Die Quarzfäden waren in folgender Anordnung

aufgehängt und unten durch einen Quarzbügel gespannt. Wird das System aufgeladen, so stoßen sich die Fäden ab. Das Elektrometer hatte in der Form, in der ich es benutzte, eine Kapazität von 3,78 cm. Der exponierte Draht konnte auf einem Aluminiumgestell aufgewickelt und in das Zerstreuungsgefäß gebracht werden. Das Beobachtungsmikroskop hatte eine Okularskala. Das Elektrometer war geeicht, so daß man den Ausschlag in Skalenteilen jederzeit in Volt umwerten konnte.

III. Gang der Untersuchungen.

Zunächst wurde der zur Aktivierung benutzte Cu-Draht durch Abreiben mit Sandpapier gereinigt. Dann wurden die in Frage kommenden Isolierungen (Braunsches Elektrometer, Leidener Flasche, Durchführung durch das Fensterkreuz) auf ihre Isolationsfähigkeit beobachtet. Einer besondern Isolationsprüfung wurde vor jedem Versuch der Elster und Geitelsche Isolierhaken unterzogen. Durch peinliches Sauberhalten und durch Einbringen von Na konnte man auch hier eine genügende Isolation erzielen. Zur weiteren Sicherung wurde jedesmal zwischen dem einen Ende des Cu-Drahtes und dem Isolierhaken ein Seidenfaden eingeschaltet. Nachdem nun der Draht ausgespannt war, wurde ein Potential von — 2100 Volt zwei Stunden lang angelegt. Dann wurde das Wulfsche Elektrometer auf seine Isolation hin geprüft und die Isolierungen (Bernstein) eventuell mit absolutem Alkohol abgewaschen. An feuchten Tagen wurde auch die Ionisationskammer mit Na beschickt. Nachdem nun alle diese Vorbereitungen getroffen waren, wurde nun stets 10 Minuten lang der durch die normale Ionisation im Zerstreuungsgefäß bewirkte Spannungsverlust in Volt/Min. bestimmt. Im Mittel ergab sich für letzteren ein Wert von 0,27 Volt/Min. War nun der Draht zwei Stuuden

lang aufgeladen, so wurde der Induktionsapparat oder die Influenzmaschine abgestellt. Der Draht wurde dann auf das Aluminiumgestell aufgewickelt und in das Zerstreuungsgefäß des Elektrometers gebracht. Die erste Ablesung, das Elektrometer war in einem Zimmer des Erdgeschosses des Instituts untergebracht, erfolgte immer $2^1/_2$ Minuten nach Beendigung der Aktivierung. Nach einer Minute, also $3^1/_2$ Minuten nach Expositionsschluß, wurde wieder abgelesen. Der Abfall innerhalb dieser Minute ergab in Volt umgewertet ein Maß der Ionisation zur Zeit drei Minuten nach Beendigung der Aktivierung. Die Werte sind also in Volt/Min. angegeben. Auf diese Weise, indem immer eine halbe Minute vor und eine halbe Minute nach einem gewissen Zeitpunkt abgelesen wurde, konnte man die Stärke der Ionisation zu verschiedenen Zeiten bestimmen und sich so Abklingungskurven konstruieren. Der Abfall der Kurve innerhalb dieses Zeitraumes von einer Minute kann man wohl als linear ansehen und so für die verschiedenen Zeiten in Rechnung ziehen. Die Abklingung wurde dann etwa 6 Stunden verfolgt, um vor allem den Thorium-Anteil an der Abklingung des aktiven Niederschlages bestimmen zu können.

Hier an dieser Stelle sei noch auf gewisse Eigentümlichkeiten der Emanationen hingewiesen, die für den Gang der Untersuchung und für die Möglichkeit des Nachweises ihres radioaktiven Niederschlages von weitgehendster Bedeutung sind. —

Die Radium-Emanation ist entsprechend ihrer großen Halbwertzeit in verhältnismäßig großen Mengen in der Luft vorhanden. Aus diesem Grunde sind wohl auch zahlreiche Messungen an ihr vorgenommen worden. Für sie wird also die Möglichkeit bestehen durch Luftströmung weit getragen und durch Diffusion in große Höhen befördert zu werden. Erwähnt sei noch, daß die aus der Emanation entstehenden Zerfallsprodukte sich etwa vier Stunden lang beobachten lassen.

Bei der Thorium-Emanation liegen diese Bedingungen für eine Messung und Beobachtung schon ganz anders. Ihr kommt ja nur eine geringe Halbwertzeit von 53 Sekunden zu. Die Thorium-Emanation zerfällt also, wie man sich leicht berechnen kann, über 6000 Mal schneller als die Radium-Emanation. Aus diesem Grunde ist wohl auch von vornherein einzusehen, daß die Beeinflussung der Thorium-Emanation durch die meteorologischen Verhältnisse naturgemäß eine viel intensivere ist. Ihre

Verbreitung wird hinter der Radium-Emanation zurückstehen und ihre Anwesenheit wird sich nur in den tieferen Luftschichten nachweisen lassen. Was nun die Feststellung der Thorium-Emanation und ihrer Zerfallsprodukte betrifft, so ist hier die schon angedeutete lange Halbwertzeit des Thoriums B (ca. 11 Stunden) von großer Bedeutung gewesen.

Für die Aktinium-Emanation sind die Bedingungen noch ungünstiger. Die Halbwertzeit beträgt nur drei Sekunden und ihr Zerfall geht demnach ca. 85 000 Mal schneller vor sich als derjenige der Radium-Emanation. Weiterhin zeigt der Zerfall des radioaktiven Aktiniumniederschlages, wie schon erwähnt, eine starke Übereinstimmung mit dem aktiven Radium-Niederschlag. Auch hier sind nach ca. 4 Stunden praktisch die in Frage kommenden Produkte verschwunden. Hier wurde ja die Aktinium-Emanation und ihre Zerfallsprodukte nicht berücksichtigt. Nach Kurz[1]) beteiligen sich die festen Zerfallsprodukte von Radium, Thorium und Aktinium im Verhältnis von 100 : 24 : 3 an der atmosphärischen Ionisation. Da schon den Thorium-Zerfallsprodukten, wie auch diese Arbeit beweist, ziemlich niedrige Werte zukommen, so würde der Nachweis des Zerfalls des Aktinium-Niederschlages wohl unter der Empfindlichkeit des Electrometers liegen.

IV. Verwertung der Beobachtungen.

Zur Verwertung der Beobachtungen wurden die von P. Gruner[2]) aufgestellten Gleichungen in der von Kurz[3]) gebrauchten Form angewandt. Auch die Werte für die Proportionalitätsfaktoren nach H. W. Schmidt[4]), mit denen die Zahl der zerfallenden Atome zu multiplizieren ist, um die Ionisation im betreffenden Zerstreuungsgefäß zu erhalten, sechs bezw. acht wurden für die Rechnung beibehalten. Streng genommen beziehen sich ja oben genannte Faktoren auf ein Zerstreuungsgefäß von andern Dimensionen. Der Fehler ist indes wohl ein sehr geringer.

[1]) Abhandl. der bayr. Akademie der Wissenschaften, Math.-Phys. Klasse, Bd. 25, 1. Abhandl., S. 27, 1909.

[2]) Annalen der Physik 19, 169, 1906.

[3]) Abhandl. der bayr. Akademie der Wissenschaften, Math.-Phys. Klasse, Bd. 25, 1. Abhandl., S. 17—18, 1909.

[4]) Annalen der Physik 21, 609, 1906.

Gemessen wurde also zu verschiedenen Zeiten, wie schon angedeutet, der jeweilige Abfall des Elektrometers in Volt/Min. Man konnte also leicht eine Abklingungskurve der radioaktiven Gesamtwirkung erhalten. Es handelte sich nun darum, eine Abklingungskurve des aktiven Thorium-Niederschlages zu konstruieren. Nach ca. 4 Stunden war die von dem Ra-Niederschlag herrührende Wirkung praktisch gleich Null. Jeder später gemessene Wert war also nur für die Thoriumkurve zu verwerten. Die Abtrennung dieser Thoriumkurve wurde nach Kurz [1]) vorgenommen und sei hier an einem Beispiel noch einmal dargestellt. Figur 1 bringt die Abklingung eines Drahtes, der zwei Stunden lang einer negativen Spannung von 2100 Volt ausgesetzt war. Man kann deutlich drei Partien unterscheiden. Zunächst ein ziemlich steiler Abfall bis ca. $1^1/_2$ Stunden, dann ein schwächerer bis ca. 4 Stunden. Diese beiden ersten Teile rühren wesentlich von dem induzierten Ra-Niederschlag her. Der letzte, flache Teil der Kurve ist durch den Thorium-Niederschlag bedingt. Es besteht nun im Falle des Thoriums folgende Beziehung:

$$\frac{I_t}{I_\Theta} = \frac{T \cdot e^{-\lambda_1 t} - U \cdot e^{-\lambda_2 t}}{T - U}$$ worin:

I_Θ die Anfangsaktivität, die nach der Aktivierungszeit Θ erreicht wird und zur Zeit $t = 0$ vorhanden ist und I_t die nach einer Abklingungszeit t noch vorhandene Aktivität darstellt.

Weiter ist:

$$T = \frac{1 - e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1} \text{ und}$$

$$U = \frac{1 - e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2}$$

Für diesen Fall haben wir ferner zu setzen:

$\lambda_1 = 1{,}816 \cdot 10^{-5}$ (sec. -1)
$\lambda_2 = 1{,}913 \cdot 10^{-4}$ (sec. -1)
Θ = Aktivierungsdauer = 7200 Sec.
$T = 6748{,}8$
$U = 3908{,}8$

also:

$$\frac{I_t}{I_\Theta} = \frac{6748{,}8 \cdot e^{-1{,}816 \cdot 10^{-5} \cdot t} - 3908{,}8 \cdot e^{-1{,}913 \cdot 10^{-4} \cdot t}}{2840{,}0}.$$

[1]) Abhandl. der bayr. Akademie der Wissenschaften. Math.-Phys. Klasse, Bd. 25, 1. Abhandl., S. 24—25.

Nach vier Stunden ist also der Potentialabfall abzüglich der natürlichen Ionisation nur noch auf die Thoriumprodukte zurückzuführen. Wir können uns nun die Anfangsaktivität I_0 berechnen und daraus wieder die zu einer beliebigen Zeit t noch vorhandene Aktivität I_t rechnerisch finden. Es ergibt sich dann folgende Tabelle:

Abklingungszeit in Minuten	Radioaktive Gesamtwirkung in Volt/Min.	Thorium-Anteil in Volt/Min. (berechnet)	Radium-Anteil in Volt/Min.
0	—	0,095	—
3	7,200	0,098	7,102
10	5,650	0,107	5,543
20	5,100	0,119	4,981
30	4,950	0,125	4,825
40	4,300	0,135	4,165
50	3,600	0,141	3,459
60	3,100	0,145	3,055
75	2,400	0,152	2,348
90	1,830	0,157	1,683
105	1,400	0,163	1,237
120	1,000	0,168	0,832
150	0,670	0,170	0,500
180	0,420	0,169	0,251
210	0,300	0,168	0,132
240	0,170	0,165	0,005
270	0,163	0,163	0,000
300	0,158	0,158	0,000
330	0,155	0,155	0,000
360	0,150	0,150	0,000

In Tabellen, von denen hier untenstehendes Schema gebracht ist, wurde die Radium- und Thoriumwirkung drei Minuten nach Beendigung der Aktivierung vereinigt mit den meteorologischen Faktoren angegeben. Aus diesen Angaben läßt sich ja ein Steigen oder Fallen der Radioaktivität der Luft und die Zu- oder Abnahme des Radium- und Thoriumanteils durchaus feststellen.

Tag der Messung 1912	Zeit der Aktivierung	Mittlere Tagestemperatur in C°	Barometerstand auf 0° und Normalschwere reduziert (7a ; 2p ; 9p)	Bewölkung 0–10 (7a ; 2p ; 9p)	Relative Feuchtigkeit in % (7a ; 2p ; 9p)	Windrichtung (7a ; 2p ; 9p)	Windstärke 0–12 (7a ; 2p ; 9p)	Luftdurchsichtigkeit	Radioakt. Gesamtwirkung in Volt nach Beend. d. Akt.	Radiumanteil in Volt nach Beend. d. Akt.	Thoriumanteil (berechnet) in Volt nach Beend. d. Akt.	Spannung in — 100 Volt
Juli 25.	10—12a	21.3	753.3	8	78	E	2	mittelmäßig	6.95	6.87	0.08	21
			751.6	7	45	E	4					
			751.6	1	71	ENE	2					

Die meteorologischen Angaben verdanke ich der Liebenswürdigkeit des Herrn Prof. Dr. Holdefleiß, des Leiters der Wetterstation des Landwirtschaftlichen Instituts der Universität Halle. An dieser Stelle sei mir gestattet Herrn Prof. Dr. Holdefleiß meinen aufrichtigsten Dank zu übermitteln.

V. Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren.

Im Sommer 1912 und besonders im Winter 1912—1913 wurden zahlreiche Versuche unternommen, um den Einfluß der jeweiligen Wetterlage auf die Stärke der Aktivierung festzustellen. Besonders von Vorteil war es, daß die größere Anzahl der Messungen in die Wintermonate fielen, da ja doch gerade dann die Wetterlage großen Schwankungen unterworfen ist.

Ich will zunächst mit der Betrachtung der beinahe windstillen Tage beginnen, an denen der Draht fast ausnahmslos stärkere aktive Niederschläge aufwies als an bewegten Tagen. Es zeigt sich, daß hohe Aktivitäten bei hoher Luftdurchsichtigkeit, geringer Bewölkung, geringer relativer Feuchtigkeit, fallendem Barometerstande, südlichen Winden, vor allem solchen mit westlicher Komponente festzustellen waren. Niedrige Werte für die Aktivitäten ergaben sich bei schwacher Luftdurchsichtigkeit (Nebel, Dunst), starker Bewölkung, steigendem Barometer, hoher relativer Feuchtigkeit und bei Winden aus dem Norden.

In charakteristischer Weise machte sich schon bei der eben erwähnten Zusammenstellung eine intensivere Beeinflussung der Thoriuminduktion von meteorologischen Faktoren bemerkbar.

Weiterhin wurde nun untersucht, ob diese Resultate auch bei Berücksichtigung der bewegten Tage zu finden waren oder ob die Ergebnisse mit denen an den windstillen Tagen festgestellten in Widerspruch standen.

Ich möchte auch hier gleich erwähnen, daß Tage mit starken Niederschlägen und Frosttage bei der Zusammenstellung der Resultate nicht herangezogen wurden, da an solchen Tagen die Radioaktivität der Luft abnorm beeinflußt war.

Was nun zunächst die Luftdurchsichtigkeit betrifft, so ergibt sich, daß an klaren, hellen, schönen, sonnigen Tagen durchschnittlich hohe Werte gefunden wurden. Auch früher kam man schon zu diesen Ergebnissen, so Kurz[1]) und Lindemann.[2]) An trüben, dunstigen, nebligen Tagen ergaben sich stark herabgedrückte Werte. In besonderer Weise wurde wieder die Thoriuminduktion beeinflußt. Die Thorium-Emanation befindet sich ja nur in geringer Höhe. Die Produkte sind zunächst wohl positiv geladen und lagern sich an Staub und Dunstpartikel an. Dadurch wird ihre Beweglichkeit stark herabgesetzt. So fanden wir oft trotz verhältnismäßig hoher Radium-Werte vielfach nur ganz geringe oder gar keine Thorium-Werte.

Anschließend hieran möchte ich sogleich die Bewölkung berücksichtigen. Der Einfluß der Bewölkung ist ein augenfälliger. Es konnten hier die Resultate von Simpson,[3]) Saake[4]) und Lindemann,[5]) die eine Zunahme der induzierten Aktivität bei abnehmender Bewölkung gefunden hatten, von neuem gefestigt werden. Zur klareren Übersicht stellte ich die Mittelwerte von ziemlich wolkenlosen Tagen und von Tagen, deren Bewölkung über fünf lag, zusammen.

a) Wolkenlose Tage: 27 Tage

Radium = 7,27 Volt/Min.
Thorium = 0,18 Volt/Min.

b) Bewölkte Tage (Bewölkung über 5): 70 Tage

Radium = 4,30 Volt/Min.
Thorium = 0,08 Volt/Min.

[1]) Abhandl. der bayr. Akademie der Wissenschaften. Bd. 25, 1. Abh.
[2]) Lindemann: Dissertation, Kiel 1911.
[3]) Phys. Zeitschrift 6, 270, 1905.
[4]) Phys. Zeitschrift 4, 626, 1903.
[5]) Dissertation, Kiel 1911, S. 22.

Auch hier zeigt sich wiederum, daß Thorium eine prozentual größere Beeinflussung erfährt.

Auch die Barometerbewegung hat einen Einfluß auf die atmosphärische Aktivität. Ein Vergleich mit den Barographen-Kurven als auch mit den für die Arbeit angefertigten Kurven läßt erkennen, daß ein Fallen des Barometers eine Zunahme beider induzierten Aktivitäten und damit eine Zunahme beider Emanationsarten verursacht und daß steigender Luftdruck nach entgegengesetzter Richtung hin wirkt. Elster und Geitel,[1]) K. F. Kohlrausch[2]) und Jaufmann[3]) hatten dasselbe gefunden, während Gockel[4]) hohe Werte bei steigendem Luftdruck konstatierte. Die Amplituden der Schwankungen im Thorium-Gehalt sind auch hier weit größer als beim Radium-Gehalt.

Ich habe auch hier einmal eine Zusammenstellung der Radium- und Thorium-Werte bei verschiedenen Barometerständen vorgenommen.

Barometerstand 730 mm.
Anzahl der Messungen: 2.
Mittelwert in Volt/Min.:
a) Radium = 6,78
b) Thorium = 0,10

Barometerstand 740 mm.
Anzahl der Messungen: 8.
Mittelwert in Volt/Min.:
a) Radium = 5,55
b) Thorium = 0,13

Barometerstand 750 mm.
Anzahl der Messungen: 61.
Mittelwert in Volt/Min.:
a) Radium = 6,08
b) Thorium = 0,15

Barometerstand 760 mm.
Anzahl der Messungen: 45.
Mittelwert in Volt/Min.:
a) Radium = 4,46
b) Thorium = 0,10

Barometerstand 770 mm.
Anzahl der Messungen: 5.
Mittelwert in Volt/Min.:
a) Radium = 3,58
b) Thorium = 0,15

Besonders seltsam nimmt sich der hohe Wert des Thorium-Niederschlages bei 770 mm (0,15 Volt/Min.) aus. Eine Begründung läßt sich darin finden, daß nur an schönen, sonnigen

[1]) Phys. Zeitschrift 4, 528, 1902–1903.
[2]) Wiener Ber. 115, 2a, 1236, 1906.
[3]) Met. Zeitschrift 24, S. 337—351, 1907.
[4]) Phys. Zeitschrift 5, 591—594, 1904.

Tagen hoher Luftdruck herrscht. Den radioaktiven Stoffen wird durch erhöhte Bewegungsmöglichkeit Gelegenheit gegeben im Gegensatz zu Tagen mit niederem Barometerstande (hohe Feuchtigkeit) sich auf dem exponierten Draht niederzuschlagen. Die Beweglichkeit der Thorium-Partikel wird hierbei im Verhältnis stärker beeinflußt. Eigentlich sollte die bei hohem Barometerstande gesteigerte Gasdichte die Beweglichkeit herabsetzen, aber dieser Faktor tritt zurück hinter der geringen Möglichkeit sich an Staub- und Dunstpartikel anzulagern. Als allgemeines Resultat ergibt sich, daß bei kürzerem oder noch mehr bei längerem Fallen des Barometers der Gehalt an Radium- als auch an Thorium-Induktion steigt und bei steigendem Barometer die aktiven Niederschläge geringere Werte zeigen.

Besonders interessant ist die Abhängigkeit der atmosphärischen Aktivität von Windstärke und Windrichtung. Geringe Windstärke fällt, wie nachstehende Übersicht und die Berücksichtigung der annähernd windstillen Tage zeigt, mit hoher Aktivität zusammen.

Windstärke über 5.	Windstärke unter 5.
Mittelwert in Volt/Min.:	Mittelwert in Volt/Min.:
a) Radium = 3,99	a) Radium = 7,16
b) Thorium = 0,09	b) Thorium = 0,15

Auch Elster und Geitel[1]) hatten dasselbe gefunden.

Was dann die Windrichtung anbetrifft, so brachten Nordwinde für uns niedrige Werte. Als Mittelwert für Winde, die vom Norden herwehten, ergaben sich aus 24 Messungen:

a) Ra = 3,45 Volt/Min.
b) Th = 0,05 Volt/Min.

Hohe Werte konnte ich bei Südwinden konstatieren und hier besonders bei solchen mit westlicher Komponente. Als Mittelwert für 90 Messungen fand ich für:

a) Ra = 6,91 Volt/Min.
b) Th = 0,16 Volt/Min.

Die hohen Werte bei Süd-West-Winden lassen sich wahrscheinlich daher erklären, daß sie über wiesen- und wasserreiches Gebiet streichen, ohne erst die staubige und dunstige Atmosphäre der Stadt zu berühren. Die Nordwinde müssen ihren Weg über einen großen Teil der Stadt nehmen.

[1]) Phys. Zeitschrift 4, 1902—1903, S. 528.

Auch die relative Feuchtigkeit übt einen Einfluß auf die Aktivität der Luft aus. An Tagen mit hoher relativer Feuchtigkeit wurden zumeist nur geringe Aktivitäten gemessen. Hervor trat diese Abhängigkeit insonderheit an wenig bewegten Tagen. Die Thoriumwerte waren auch in dieser Hinsicht stärkeren Schwankungen unterworfen. Ähnliche Resultate wurden für Ra von Lindemann[1]) und für Ra und Th von Kurz[2]) gewonnen.

Hier möchte ich sogleich eine Beeinflussung der atmosphärischen Aktivität durch die Bodenfeuchtigkeit erwähnen. Hielt sich der Boden lange Zeit feucht, so resultierten geringe Werte. Eine Deutung geht wohl dahin, daß durch die Bodennässe die Emanation durch Verstopfung der Erdkapillaren nicht in normaler Weise dem Boden entsteigen und in die Atmosphäre gelangen konnte. Der Sommer 1912 brachte ziemlich häufig Niederschläge. Die Durchlässigkeit des Bodens wurde dadurch herabgedrückt und die Folge davon waren niedrige Werte, die den Ergebnissen im Winter bei ungefrorenem, trockenem Boden extrem gegenüber stehen.

Regen- und Schneefälle schienen die radioaktiven Produkte aus der Atmosphäre zu entfernen. Aktivierungen (z. B. im Jahre 1912 am 13. August, 5. September, 23., 27. Oktober, 2., 5., 8., 19. November; im Jahre 1913 am 21. Januar, 13. Februar, 16. März), die kurz nach oder während der Niederschläge vorgenommen wurden, ergaben immer niedere Werte. Nebel (z. B. im Jahre 1912 am 27. Oktober, 7., 9. November und im Jahre 1913 am 3., 7. Januar) äußerte seine Wirkung in derselben Weise. In allen Fällen, besonders beim Nebel, war Thorium wiederum einer stärkeren Beeinflussung unterworfen. Untersuchungen von Jaufmann[3]) und Kurz[2]) zeitigten dieselben Resultate.

Aktivierungen, die an Tagen mit gefrorenem Boden vorgenommen wurden, lieferten für beide Induktionen niedere Werte. In Betracht kommen die Tage vom 10.—16. Januar, 28.—30. Januar und 17.—22. Februar des Jahres 1913. Dauerte die Kälte einige Tage an, so war das Thorium unter die Grenze der Meßbarkeit gesunken. Wurde indeß das Wetter milder, und

[1]) Kiel, Dissertation 1911.

[2]) Abhandl. der bayr. Akademie der Wissenschaften. Math.-Phys. Klasse, Bd. 25, 1. Abhandl.

[3]) Met. Zeitschrift 24, S. 337—351, 1907.

taute der Boden auf, so stiegen die Aktivitäten schnell an. Hieraus ergibt sich von neuem wie auch Gockel[1]) andeutet, daß die atmosphärische Aktivität tatsächlich ihren Ursprung in den im Erdboden verteilten radioaktiven Stoffen hat.

Der Einfluß der Temperatur tritt nicht deutlich hervor. Wenn man eine Grenze bei 0^0 ziehen wollte, so würde sich natürlich zeigen, daß an Tagen unter 0^0 die Aktivitäten geringer sind als an Tagen an denen eine Temperatur über 0^0 herrscht. Dies hängt aber doch mit der Undurchlässigkeit des gefrorenen Bodens zusammen. Allerdings macht sich ein Einfluß durch ziemlich hohe Aktivitäten an sonnigen (durch Erwärmung wird die emanationshaltige Luft aus dem Erdboden aufsteigen), klaren Tagen geltend.

Zur Erklärung mag noch folgendes erwähnt werden. Die radioaktiven Emanationen entstammen also dem Erdboden. Die Faktoren, die ihr mehr oder minder starkes Ausströmen durch die Erdporen bedingen, sind Luftdruckänderungen, aufsteigende Luftströme usw. Eine Behinderung des Ausströmens tritt durch Regen (Verschlämmen der Poren) und durch Gefrieren ein. — Eine bedeutsame Rolle spielt wahrscheinlich sonderlich im Falle des Thoriums die Beweglichkeit der Ionen, auf welche die Wetterlage einen entscheidenden Einfluß zu haben scheint. — Anzunehmen ist, wie bereits erwähnt, daß die Ionen durch Adhäsion der in der Luft befindlichen Wasserteilchen, Staubteilchen etc. ihre Geschwindigkeit verlieren. Die oben erwähnte Annahme verglichen mit unsern Resultaten zeigt, daß die Bedingungen für hohe Aktivitäten mit denen für hohe Geschwindigkeiten der Ionen eine weitgehende Übereinstimmung besitzen. Süd-West-Winde sind ja für uns aus schon erwähnten Gründen (S. 23) staub-, rauch- und dunstfrei. Auch hohe Luftdurchsichtigkeit deutet ja auf die Abwesenheit von Staubteilchen und Wassertröpfchen hin. Was nun die niedrigen Werte bei hoher relativer Feuchtigkeit betrifft, so unterstützen diese Ergebnisse die vorstehende Annahme. Gerdien[2]) hat nun in dieser Hinsicht Versuche angestellt und Schwankungen in der Beweglichkeit festgestellt. Er gelangte zu dem Resultat, daß die positiven Träger in einem Feld von 1 Volt/cm sich zwischen 0,00007 und

[1]) Phys. Zeitschrift 5, S. 591, 1904.

[2]) Phys. Zeitschrift 6, S. 465, 1905, und Abhandlungen der Königl. Ges. der Wissenschaften zu Göttingen. Neue Folge 5, 1907.

2,5 cm/sec bewegen. Weiter kommen nach ihm bei der Thorium-Induktion höhere Geschwindigkeiten als 1,75 cm/sec. seltener vor als bei der Radium-Induktion. Der letzte Befund rechtfertigt einen Schluß dahin, daß, da die Thorium-Produkte von vornherein nicht so hohe Geschwindigkeit erreichen, die Beeinflussung ihrer Beweglichkeit größer ist als bei den Radium-Produkten. Was nun die Werte der Radium- und Thorium-Zerfallsprodukte betrifft, so zeigt sich, daß die Thorium-Werte bei weitem niedriger und oft unter die Grenze der Meßbarkeit gesunken sind. Durchschnittlich verhielten sich die gemessenen Werte vom Radium zu denen vom Thorium wie 5:1. Dies ist indes ja nur eine Bestätigung der Messungen von Dadourian[1]) und Wilson[2]) und auch von Kurz. Zudem berechneten Mache und Schweidler[3]) unter Berücksichtigung der Gesetze Avogadros und der Wandlungskonstante beider Emanationen, daß jedem zerfallenden Thorium-Atom 3—8 Radium-Atome entsprechen.

VI. Zusammenfassung.

Es zeigt sich, daß hohe Aktivitäten an Tagen mit großer Luftdurchsichtigkeit, geringer Bewölkung, fallender Barometerbewegung, niedriger relativer Feuchtigkeit, geringer Windstärke, und bei südlichen Winden, vor allem aber solchen mit westlicher Komponente, gefunden wurden und sich niedrige Werte umgekehrt bei geringer Transparenz der Luft, bei hoher Bewölkung, steigendem Luftdruck, hoher relativer Feuchtigkeit, großer Windstärke und bei Winden aus dem Norden ergaben.

Regen und Schnee entfernten die Induktionen aus der Luft, und die Aktivierung während der Niederschläge oder kurz danach lieferten niedrige Werte.

War der Boden längere Zeit feucht, so wurde seine Durchlässigkeit herabgesetzt und die Emanationen behindert, in die Atmosphäre zu gelangen.

Auch an Frosttagen war die Durchlässigkeit des Erdbodens durch das Gefrieren der oberen Schichten gering, und die Ema-

[1]) Sill. J. (4), 25, 335, 1908.
[2]) Phil. Mag. (6). 17, 321, 1909.
[3]) Die atmosphärische Elektrizität, S. 167.

nationen konnten nicht in normaler Weise unsere Luft durchmischen.

Die Temperatur zeigt insofern einen Einfluß, als an sonnigen klaren Tagen durch Erwärmung die emanationshaltige Luft aus dem Erdboden getrieben wird.

Durch Nebel und Dunst wurden die Aktivitäten stark herabgedrückt.

In den meisten Fällen folgte die Thorium-Induktion allen diesen meteorologischen Faktoren weit schneller als die Radium-Induktion.

B. Physiologischer Teil.

I. Stand der Emanationstherapie.

Nachdem ich nun im vorhergehenden physiko-meteorologischen Teil die Abhängigkeit des Gehaltes der Luft an Radium- und Thorium-Induktion und damit indirekt an den zugehörigen Emanationen von meteorologischen Faktoren nachgewiesen habe, will ich nun zum rein physiologischen Teil übergehen und zunächst den Stand der Radiotherapie und speziell die klinische Verwendung der Emanationen kurz beleuchten, um eventuell die hier gewonnenen Erfahrungen und Resultate zur Erklärung der physiologischen Einwirkung der in der Atmosphäre vorhandenen Emanationen auf solche Personen, deren Befinden mit der Wetterlage in Beziehung zu setzen ist, heranzuziehen.

Die radioaktiven Produkte haben, wie eingangs schon hervorgehoben wurde, eine große Anwendung in der Therapie und Biologie gefunden.

Vor allem ist beim Radium die Emanation bevorzugt worden, da man sie auf bequeme Art und Weise wie ein gewöhnliches Gas durch Einatmen in den sogenannten Emanatorien, durch Trinkkuren (per os), durch Injektionen löslicher und unlöslicher Ra-Salze etc. in den Organismus überführen kann. Die Einatmung und die Verabreichung per os wird naturgemäß mehr eine Allgemeinwirkung zur Folge haben, während den Injektionen durch die von den Ra-Salzen und deren Zerfallsprodukte ausgehenden α, β und γ-Strahlen eher lokale Wirkungen zukommen werden.

Die Radiumemanation zerfällt spontan im Körper in 3,85 Tagen zur Hälfte unter Emission von Strahlen in die nacheinander entstehenden Zerfallsprodukte Ra A, Ra B, Ra C, Ra D,

Ra E und Ra F. Die Halbwertzeit dieser Glieder, die ihrerseits wieder bei ihrer Umwandlung Strahlen aussenden, variiert zwischen drei Minuten (Ra A) und 16,5 Jahren (Ra D).

Welches sind nun die durch Experimente gesicherten, grundlegenden Wirkungen der Radium-Emanation?

Die Hauptwirkung scheint in einer günstigen Beeinflussung des Stoffwechsels zu liegen. Für den Gesamtstoffwechsel wurde dies von Silbergleit und Kikkoji[1]) nachgewiesen, die in einzelnen Fällen eine Zunahme des O-Verbrauches und der CO_2-Abgabe bei einem Anstieg des respiratorischen Quotienten beobachten konnten.

Eine weitere Einwirkung besteht in einer Aktivierung, einer Steigerung der Wirksamkeit, der einzelnen Fermente. So ist diese Aktivierung nachgewiesen für das Pankreasferment und für das Pepsin. Vor allem wurde aber durch Loewenthal und Edelstein[2]) der Nachweis geführt, daß die autolytischen Fermente und das diastatische aktiviert und eben dadurch zu erhöhter Tätigkeit angeregt wurden. Diese Befunde gaben mit einem Schlage eine Aufklärung über die therapeutischen Erfolge bei Anwendung der Ra-Emanation.

Nach den Untersuchungen von His und Gudzent[3]) entfaltet die Ra-Emanation eine besondere fermentative Wirkung bei der Gicht. Die Gicht besteht nach der neueren Ansicht in einer Störung des Purinstoffwechsels. Die Purinkörper werden nicht folgerichtig abgebaut, sondern der Abbau bleibt bei der Harnsäure stehen, die sich in großen Mengen an den verschiedensten Stellen des Körpers ablagert. Was nun die Harnsäure betrifft, so kommt diese im Blute nur als Salz und zwar als Mononatriumurat vor. Dieses existiert in zwei isomeren Formen, nämlich in dem zuerst entstehenden instabileren, löslichen Laktamurat und dem weiterhin sich daraus bildenden stabileren, unlöslicheren Laktimurat. Bei der Gicht handelt es sich nun um eine dauernde Anwesenheit von Harnsäure im Blute und zwar als Laktimurat. Hier greift nun die Ra-Emanation tatkräftig ein und verwandelt das Laktimurat in das Laktamurat, das weiter bis zur

[1]) Radium in Biologie und Heilkunde, Bd. 1, 1911, Heft 2, S. 46—65.
[2]) Med. Klinik 1910, Nr. 42.
[3]) Radium in Biologie und Heilkunde, Bd. 1, 1911, Heft 1, S. 16 ff.

Kohlensäure und bis zum Ammoniak zersetzt wird. Der wirksame Faktor ist hierbei ein Zerfallsprodukt der Ra-Emanation das Ra D, daß, wie O. Hahn nachwies, weiche β-Strahlen emittiert.

Die Radium-Emanation übt bei einer großen Anzahl von Krankheiten eine bessernde ja sogar heilende Wirkung aus. Hierher gehören u. a. rheumatische, gichtische und gewisse Nervenleiden (Ischias), also alles Krankheiten, die mit der Wetterlage im Zusammenhange stehen und in ihrem Verlaufe häufig spontane Schwankungen zeigen. Vielfach tritt unter der Behandlung die sogenannte Reaktion,[1]) eine Verschlimmerung des Leidens, auf. Heute ist klargestellt, daß sie nicht immer auftritt, noch daß ihr Ausbleiben ein schlechtes Zeichen für den Erfolg der Kur ist. Es läßt sich indes sagen, daß das eintretende Reaktionsstadium im allgemeinen zur sicheren Hoffnung auf Erfolg berechtigt.

Was die Anwendung der Thorium-Emanation anbelangt, so ist diese wegen ihrer kurzen Halbwertzeit (53 Sek.) noch nicht zu theurapeutischen Zwecken verwendet worden. O. Hahn[2]) macht über ihre Verwendbarkeit einige Bemerkungen und spricht sich dahin aus, daß unter geeigneten Bedingungen die Thorium-Emanation wegen der schnellen Nachbildung aus ihrer Muttersubstanz, dem Thorium X, noch besser zur Behandlung geeignet sei als die Radium-Emanation. Durch Inhalation kann man dem Körper dauernd Emanation zuführen, die dann ziemlich schnell (in einigen Minuten) zerfällt. Ihr Niederschlag indes, der α, β und γ aber auch die weichen β-Strahlen aussendet, ist erst nach einigen Tagen gänzlich verschwunden.

Über die Aktinium-Emanation und ihre Verwendbarkeit finden wir in der Literatur keine Andeutung.

Wir haben nun den Stand der Emanationstherapie gewürdigt und ihre Bedeutung für den Organismus in Kürze gekennzeichnet.

Wie steht es nun um die physiologische Wirkung der natürlichen, in der Atmosphäre befindlichen Emanationen?

[1]) Loewenthal: Phys. Zeitschrift 1906, S. 563

[2]) Radium in Biologie und Heilkunde. Band 1, Heft 7, S. 194.

II. Gang der Untersuchungen.

Es wurde an verschiedenen Tagen der Gehalt der Luft an Emanationen indirekt bestimmt. Gleichzeitig machten eine Reihe einwandfreier Personen, deren Befinden von der jeweiligen Wetterlage abhing und die in der Lage waren, vielfach einen Witterungswechsel im voraus anzukündigen, Aufzeichnungen über ihr Ergehen. Auch die meteorologischen Faktoren wurden hinsichtlich ihrer physiologischen Wirksamkeit einer Prüfung unterzogen. Die Radium- und Thorium-Werte und die verschiedenen Notizen über das Befinden sowie auch die meteorologischen Faktoren wurden in Monatskurven aufgetragen und auf diese Weise durch Vergleichung der Kurven die Resultate zu gewinnen gesucht. Es sind am Schlusse dieser Arbeit (Fig. II und III) Monats-Kurven, die das Ergehen und Gehalt an Emanationen kennzeichnen, beigefügt und gleichzeitig die auf S. 32 angedeutete Verschiebung vorgenommen.

III. Zur Verfügung stehende Personen.

Zur Verfügung standen mir folgende Fälle:

Fall Nr. 1. Gelenkrheumatismus und Gicht.

A. P., Nachtwächter, 65 Jahre alt. Vor 6 Jahren Beginn der Beschwerden. Schmerzen in allen Gelenken. Am Knie und Knöchel sind Schwellungen vorhanden (Gichtknoten).

Fall Nr. 2. Rheumatismus im rechten Schultergelenk und Oberarm.

E. M., 35 Jahre alt, Institutsdiener. Leiden besteht seit Januar 1912. Schwellungen am rechten Oberarm insonderheit bei Witterungswechsel.

Fall Nr. 3. Kniegelenkentzündung.

A. R., Gutsbesitzer, 63 Jahre alt. Leiden entstand durch Unfall vor 8 Jahren. Kur in Schmiedeberg.

Fall Nr. 4. Gicht, Rheumatismus, auch Nervenschmerzen.

W., Museumsdiener, 54 Jahre alt. Krankheit besteht seit 1885 durch Erkältung beim Militär. Schmerzen im ganzen Körper. Schwellungen im Großzehgelenk, im Ellenbogen und an den Händen.

Fall Nr. 5. Gelenkrheumatismus.

J. W., Tischlermeister, 38 Jahre alt. Leiden besteht seit 1897. Schmerzen im Fußgelenk bis zum Knie. Schwellungen im Fußgelenk und Knie.

Fall Nr. 6. Gelenkrheumatismus.

O. K., Packer, 22 Jahre alt. Schmerzen traten zuerst 1909 auf. Schmerzen in Hand und Fußgelenk. Schwellungen am Fußgelenk.

Fall Nr. 7. Gelenkrheumatismus.

Frau H., 35 Jahre alt. Leiden besteht seit einigen Jahren. Schmerzen und Schwellungen im Ellenbogengelenk.

Fall Nr. 8. Ischias.

F. K., Geschirrführer, 59 Jahre alt. Leiden durch Erkältung und Unfall seit dem Jahre 1896. Schwellungen im ganzen Körper. 1912 zur Kur in Schmiedeberg. Wetterempfindlich besonders bei Wind.

IV. Ergebnisse bei den einzelnen Personen.

Wie sich ja von vornherein annehmen läßt, so mußte man hier jeden Fall erst einmal für sich betrachten, da diese Krankheiten einen recht individuellen Charakter zeigen. Erst dann konnte man zu allgemeinen Resultaten gelangen. Ich will daher von Fall zu Fall schreiten und sogleich jetzt erwähnen, daß der Thorium-Emanation, die ja in Hinsicht auf die Ra-Emanation nur in geringer Menge in der Luft vorkommt, höchstens mit der Ra-Emanation zusammen eine physiologische Wirksamkeit zukommt.

Fall Nr. I. Die Emanation wirkt erst nach einem Tage physiologisch ein. Wenn man nämlich die Aktivitätskurven liegen läßt und die Kurven des Befindens um einen Tag nach links schiebt, so ergibt sich in den meisten Fällen, wie auch Fig. II und III zeigt, ein Spiegelbild. Daraus ergibt sich, daß, wenn der Emanationsgehalt groß ist, am nächsten Tage eine Verschlimmerung des Leidens, die sogenannte Reaktion eintritt. Haben wir schwachen Emanationsgehalt, so ist das Befinden am folgenden Tage gut.

Physiologisch einwirkende meteorologische Faktoren.

Befinden schlecht. Bei:

a) schwacher Luftdurchsichtigkeit;
b) hoher Bewölkung (besonders Januar u. Februar);
c) hoher relativer Feuchtigkeit (besonders Januar und Februar);
d) großer Windstärke (besonders Februar).

Das Barometer scheint fallend eine Besserung hervorzurufen. Gut ist das Befinden in umgekehrten Fällen.

Fall Nr. 2. Auch hier ergibt sich hinsichtlich der Emanationswirkung dasselbe Resultat wie im Falle I. Ist also heute der Emanationsgehalt groß, so tritt zumeist morgen die Reaktion auf und haben wir heute niedrigen Emanationsgehalt, so tritt morgen eine Besserung ein.

Physiologisch einwirkende meteorologische Faktoren.

Befinden schlecht. Bei:

a) starker Bewölkung;
b) großer relativer Feuchtigkeit;
c) großer Windstärke;
d) geringer Luftdurchsichtigkeit, jedoch weniger einwandsfrei.

Befinden gut in umgekehrten Fällen.
Ein Einfluß des Barometers fällt hier aus.

Fall Nr. 3. In diesem Falle bestätigt sich hinsichtlich der physiologischen Einwirkung der Emanation das in den vorhergehenden Fällen gezeitigte Ergebnis. Allerdings zeigt sich im ersten Teil des Februar und im letzten Teil des Januar keine Einwirkung der Emanation auf das Befinden.

Physiologisch einwirkende meteorologische Faktoren.

Befinden schlecht. Bei:

a) großer Windstärke;
b) steigendem Barometer.

In umgekehrten Fällen tritt eine Besserung ein.
Der Einfluß der Luftdurchsichtigkeit, Bewölkung und der relativen Feuchtigkeit tritt zurück.

Fall Nr. 4. Man kommt gleichfalls hier zu der Annahme, daß die Emanation erst nach etwa einem Tage eine Wirkung ausübt. Man findet wieder, daß bei hohem Emanationsgehalt am folgenden Tage die Reaktion auftritt, während umgekehrt bei niederem Gehalt der Luft an Emanation sich am folgenden Tage eine Besserung im Befinden konstatieren läßt. Besonders deutlich zeigt sich diese Abhängigkeit im Monat Januar, während im November und Dezember der hier in Frage kommende Wetterkranke sehr wenig auf ein Steigen oder Fallen des Emanationsgehaltes reagiert.

Physiologisch einwirkende meteorologische Faktoren.

Befinden schlecht. Bei:

a) hoher relativer Feuchtigkeit (November, Dezember);
b) großer Windstärke;
c) steigendem Barometer.

Eine Besserung tritt in umgekehrten Fällen ein.

Luftdurchsichtigkeit und Bewölkung zeigen keinen Einfluß.

Fall Nr. 5. Die Emanation zeigt hier im allgemeinen an ca. 1 bis $1^1/_2$ Tagen eine physiologische Einwirkung. Im Januar ergibt sich nichts Sicheres und für den November liegt zu wenig Material vor.

Physiologisch einwirkende meteorologische Faktoren.

Befinden schlecht. Bei:

a) hoher Bewölkung;
b) großer relativer Feuchtigkeit;
c) großer Windstärke.

In umgekehrten Fällen tritt eine Besserung ein.

Ein Einfluß des Barometers und der Transparenz der Luft treten zurück.

Fall Nr. 6. In diesem Falle ergeben sich dieselben Beziehungen bezüglich der Emanationswirkung. Deutlich tritt diese Abhängigkeit im Februar hervor, während der November infolge geringer Aufzeichnungen nichts Einwandfreies und der Januar trotz der Schwankungen im Emanationsgehalt nur geringe Änderungen im Befinden zeigen.

Physiologisch einwirkende meteorologische Faktoren.

Befinden schlecht. Bei:

a) geringer Luftdurchsichtigkeit;
b) hoher Bewölkung (besonders Januar);
c) hoher relativer Feuchtigkeit (besonders Februar);
d) großer Windstärke.

Eine Besserung im Befinden tritt in umgekehrter Hinsicht ein.
Das Barometer hat keinen Einfluß.

Fall Nr. 7. Wegen der geringen Aufzeichnungen läßt sich kein einwandfreies Resultat in Bezug auf die physiologische Wirkung der Emanation finden. Die wenigen Aufzeichnungen lassen jedoch vermuten, daß man zu ähnlichen Resultaten hinsichtlich der Emanationswirkung gelangt wie in den schon behandelten Fällen.

Physiologisch einwirkende meteorologische Faktoren.

Befinden schlecht. Bei:

a) geringer Luftdurchsichtigkeit;
b) starker Bewölkung (besonders Januar);
c) großer relativer Feuchtigkeit (besonders Januar);
d) großer Windstärke.

In umgekehrten Fällen ergeht es Fall 7 schlecht.
Das Barometer hat keinen physiologischen Einfluß.

Fall Nr. 8. Hier scheint keine Verschiebung der Emanationswirkung stattzufinden. Emanationskurven und Befindenskurven laufen durchschnittlich parallel. Es ergeht also dem Patienten bei hohem Emanationsgehalt gut und umgekehrt mindert ein geringer Emanationsgehalt das Wohlbefinden herab. Der Fall scheint also anderen Bedingungen zu unterliegen. Auch klinisch sind die Bedingungen für eine Beurteilung der Wirkung der Emanation in Bezug auf Ischias noch nicht sicher gestellt.[1])

Physiologisch einwirkende meteorologische Faktoren.

Befinden schlecht. Bei:

a) starker Bewölkung;
b) hoher relativer Feuchtigkeit (besonders Januar);
c) großer Windstärke;
d) hohem oder steigendem Barometer.

[1]) Therapie der Gegenwart. Dezember 1910. Gudzent: Gegenwärtiger Stand der Radiumemanationstherapie.

Eine Besserung des Ergehens findet in entgegengesetzten Fällen statt.

Die Luftdurchsichtigkeit hat keinen Einfluß.

Die Windrichtung übt keinen physiologischen Einfluß aus. Die Temperatur spielt nur im Zusammenhange mit der Feuchtigkeit eine Rolle und führt dann eine Verschlechterung des Befindens an naßkalten Tagen herbei.

An Frosttagen geht es in den meisten Fällen den Wetterkranken gut. Eine Ausnahme macht der Fall 8.

V. Überblickung der Resultate.

Fassen wir die Ergebnisse bezüglich der Emanationswirkung zusammen, so zeigt sich, daß die radioaktiven Emanationen der Atmosphäre einen physiologischen Einfluß haben. Es ergibt sich, daß der Organismus in der großen Mehrzahl der hier erwähnten Fälle nicht sogleich auf einen starken oder schwachen Emanationsgehalt reagiert, sondern erst nach etwa einem Tage. Es tritt bei hohem Emanationsgehalt am nächsten Tage die Reaktion auf, eine Verschlechterung im Befinden dieser Wetterkranken, und bei niedrigem Gehalt der Luft an Emanation tritt am folgenden Tage eine Besserung ein. Eine Ausnahme macht der Fall 8, der anscheinend sofort reagiert und dem es bei hohem Emanationsgehalt gut und bei niederem schlecht geht.

Diese Art der physiologischen Einwirkung läßt sich ja auch mit dem klinischen Befunden in Einklang bringen. Wird dem Patienten in irgend einer Weise Emanation verabreicht, so stellt sich auch zumeist nach einiger Zeit die Reaktion, oft febriler Natur, ein, um dann im Laufe der Behandlung fortzubleiben. Daß hier nie febrile Reaktion entstand, liegt vielleicht daran, wie Jansen[1]) in Hinsicht auf schwache klinische Dosierung erwähnt, daß die Einwirkung der Emanationen der Luft zur Herbeiführung einer günstigen Beeinflussung oder einer Heilung zu schwach ist.

Zum Schluß sei auf die Beeinflussung des Befindens dieser Wetterkranken durch meteorologische Einflüsse hingewiesen. Es tritt hier keine Verschiebung ein.

[1]) Radium in Biologie und Heilkunde, Band 1, Heft 7, S. 209.

Einen sicheren, einwandfreien Einfluß haben die Windstärke und die relative Feuchtigkeit. Geringe Windstärke und geringe relative Feuchtigkeit erhöhen das Wohlbefinden der hier in Frage kommenden Personen, während große Windstärke und große relative Feuchtigkeit das Befinden verschlechtern.

Weniger deutlich in ihrer physiologischen Einwirkung treten Luftdurchsichtigkeit und Bewölkung hervor. Eine Besserung im Befinden zeigt sich bei hoher Luftdurchsichtigkeit und geringer Bewölkung, während geringe Transparenz und starke Bewölkung nach der entgegengesetzten Seite hin wirken. Der Einfluß des Barometers tritt nur in einzelnen Fällen hervor.

Die Windrichtung hat, wie schon erwähnt, keinen physiologischen Einfluß, und der Temperatur kommt nur zusammen mit der relativen Feuchtigkeit eine physiologische Wirksamkeit an naßkalten Tagen zu. Es tritt dann eine Verschlechterung im Befinden ein.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden vom April 1912 bis April 1913 im Physikalischen Institute der Universität Halle a. d. S. ausgeführt.

Zum Schlusse sei es mir hier gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit und insonderheit für die liebenswürdige Unterstützung und stete Förderung bei der Ausführung derselben meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Heinrich Lauter, am 31. Januar 1887 zu Oranienburg, als Sohn des Maurermeisters Heinrich Lauter und seiner Ehefrau Marie Luise geb. Brandenburg. Ich bin evangelischer Konfession und preußischer Staatsangehörigkeit. Zuerst besuchte ich die Bürgerschule zu Oranienburg, und darauf von Ostern 1900 bis Ostern 1905 die X. Realschule zu Berlin. Ostern 1905 trat ich dann in die Oberrealschule zu Steglitz ein, die ich Oktober 1908 mit dem Zeugnis der Reife verließ, um zunächst an der Königl. Tierärztlichen Hochschule zu Berlin Veterinär-Medizin zu studieren. Ostern 1910 indes ließ ich mich an der Königl. Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin immatrikulieren, um mich dem Studium der Naturwissenschaften und Mathematik zu widmen. Weiterhin studierte ich dann in Halle. Die mündliche Doktorprüfung bestand ich am 12. Juni 1914.

Ich nahm während meines Studiums an den Vorlesungen und Übungen folgender Herren Professoren und Dozenten teil:

Tierärztliche Hochschule Berlin: Abderhalden, Börnstein, Eggeling, Franz, Hesse, Pinner, Plate, Schmaltz, Wittmark.

Universität Berlin: Blasius, Diels, Fischer, Fock, Frischeisen-Köhler, Knoblauch, Liebisch, R. J. Meyer, Nernst, Planck, Pschorr, Schur, Spranger, Stähler, Stumpf, Weigert, Weinstein.

Universität Halle: Boeke, Dorn, Fries, Gutzmer, Menzer, Schenck, Vorländer, Wigand.

Alle meine hochverehrten Lehrer mögen meines dauernden Dankes gewiß sein.